

西双版纳不同斑块望天树种群的密度、结构和生物量

唐建维 施济普 张光明 白坤甲

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303)

摘 要 根据 5 个不同斑块的野外调查数据, 分析了残存分布在西双版纳的国家一级保护稀有树种望天树 (*Parashorea chinensis*) 的种群密度与数量、年龄结构与生物量动态, 组建了不同生长发育阶段的望天树个体生长与年龄的回归模型、个体生物量模型及种群年龄结构模型, 编制了不同斑块的望天树种群及整个种群的静态生命表、存活曲线和年龄结构图。结果表明, 不同斑块的望天树种群因种群年龄及所受到的干扰方式的不同, 其种群密度和年龄结构差异很大, 不同年龄阶段的死亡率也不同。面积最小的斑块缺乏成熟个体, 并出现龄级结构缺省的现象。不同斑块局部种群的生物量随林龄的变化近似于 Logistic 增长, 但各斑块局部种群的最大生物量以及生物量随时间的动态变化有所不同。整个种群的年龄结构为稳定增长型种群, 1~ 60 龄的种群个体的死亡率随林龄的增加而下降, 60~ 150 龄的个体死亡率随林龄的增加而上升, 180 龄后种群呈现生理衰退, 个体出现死亡高峰。种群的生物量在 180 龄前呈 Logistic 增长, 此后, 生物量下降。部分斑块受到严重的人为干扰, 已严重威胁其局部种群的生存。

关键词 望天树 种群密度 年龄结构 存活曲线 生物量

DENSITY, STRUCTURE AND BIOMASS OF *PARASHOREA CHINENSIS* POPULATIONS IN DIFFERENT PATCHES IN XISHUANGBANNA, SW CHINA

TANG Jian-Wei, SHI Ji-Pu, ZHANG Guang-Ming, and BAI Kun-Jia

Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China

Abstract Aims *Parashorea chinensis*, an endangered plant listed as the first class protected in China, now survives in local fragmented forests in Mengla, Hekou in Yunnan and Bama, Tianyang, Longzhou, Napo in Guangxi. We developed regression models for individual growth, age structure and biomass and analyzed population density, age structure, biomass dynamics and survivorship curves for local populations and the entire population in Mengla, Xishuangbanna, Yunnan Province, SW China. Our objective was to understand the population dynamics to aid protection of this endangered plant.

Methods We established different numbers and sizes of plots (50 m × 20 m or 100 m × 20 m) in five local patches according to patch size, and each plot was divided into 10 m × 10 m subplots to measure the height, diameter at breast height (DBH) or basal diameter and crown of each individual > 0.5 m height. We also measured height, basal diameter and crown of each individual < 0.5 m height in 2 m × 2 m quadrats in each subplot.

Important findings There were large differences in population density and age structure as well as mortality rate for different age stages of local populations in different patches. The local population density of the patch in which some trees were cut was 3–4 times as much as the patch which was protected and 16–18 times as much as the patch which was planted with *Amomum villosum*. Moreover, the local population of the smallest patch had no mature individuals and lacked individuals in some age stages. Although the biomass of local populations showed logistic increase with stand age, maximum biomass and biomass dynamics with time were different for local populations. The survivorship curve of the entire population was approximately a straight line, indicating that the age structure of entire population was stable and increasing. The mortality of 1–60 year-old individuals declined, mortality of 60–150 year-old individuals increased with age, and peak mortality occurred after 180 years. The biomass of the entire population was consistent with logistic growth before 180 years and was at a maximum at about 180 years. However, some patches had been so badly disturbed that the local populations were on the edge of extinction. Effective steps must be taken to protect this endangered plant population.

收稿日期: 2007-03-09 接受日期: 2007-08-11

基金项目: 国家自然科学基金(39800024 和 30370247)、云南省自然科学基金(2002C0068M)和中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCX2-SW-104-04)

本工作得到了西双版纳国家级自然保护区管理局及勐腊管理所的大力支持, 胡华斌研究员在百忙中绘制了望天树分布图, 李庆军研究员、鲁云、陈德富、李忠华等参加野外考察和调查工作, 特此致谢

E-mail: tangjw@xtbg.org.cn

Key words *Parashorea chinensis*, population density, age structure, survivorship curves, biomass

种群生态学一直是生态学研究的核心内容之一。自 Harper(1977) 的巨著问世以来, 在短短 30 年时间里, 植物种群生物学得到了迅猛的发展。众多研究集中于温带地区的植物(Pickett, 1982; Franklin & DeBell, 1988)。我国植物种群生态学研究始于 20 世纪 80 年代初, 国内众多学者对温带的针叶林、针阔混交林和亚热带的常绿阔叶林以及热带森林的优势植物种群的结构与动态做了大量的研究工作。随着人类经济活动的日益扩大, 森林的过度砍伐和草原的过度放牧等严重的人为干扰, 使植被遭受了严重的破坏, 致使原有的生境片段化或岛屿化, 濒危植物种类日渐增多。20 世纪 90 年代以来, 我国众多学者对长柄双花木(*Disanthus cercidifolius* var. *longipes*)、南方红豆杉(*Taxus mairei*)、广西青梅(*Vatica guangxiensis*)、冷杉(*Abies chensiensis*)、银杉(*Cathaya argyrophylla*)、小花木兰(*Magnolia sieboldii*)、长苞铁杉(*Tsuga longibracteata*) 和桫欏(*Alsophila pinulosa*) 等珍稀濒危植物的种群结构、数量动态与分布格局, 种子散布和种子库动态, 克隆生长空间格局与动态, 生殖构件的时空动态及生存过程等进行了研究探讨(黄仕训等, 2001; 肖宜安等, 2005; 李伟成等, 2004; 盛海燕等, 2002; 岳春雷等, 2002; 李先琨等, 2002, 2003; 张文辉等, 2005; 谢宗强和陈伟烈, 1999; 谢宗强等, 1999; 王立龙等, 2006; 吴承祯等, 2000; 宋萍等, 2005)。目前, 对濒危植物种群的研究已经从初期的种群空间结构、种间关联和年龄结构等动态分析和预测, 发展到深入分析系统压力和随机干扰对种群存活的影响; 从研究濒危植物种群的开花结实等生殖特征, 发展到深入研究种群传粉生态、生殖分配、种子雨、种子库、幼苗更新和克隆繁殖方式等生活史过程中的关键环节和适应不同环境压力的生殖对策等(张文辉等, 2002)。

望天树(*Parashorea chinensis*) 是 20 世纪 70 年代初发现并引起我国植物学界高度重视的龙脑香科植物, 属国家一级保护的稀有树种, 现分布于云南南部的西双版纳, 东南部的河口, 广西西南部的巴马、田阳及龙州等地的局部生境。在西双版纳主要分布于勐腊县东南部的南沙河、南腊河和灰阴河等 6 条河谷的两侧及山坡下部, 并形成以之为上层优势种的群落——望天树林。由于经济活动的日益扩大, 以及刀耕火种、乱砍滥伐等人为破坏, 生境破碎化程度愈来愈严重, 望天树目前在西双版纳以大小不等

的 16 块斑块呈条状或块片状残存分布在总面积不到 800 hm² 的范围内(朱华, 1992a)。部分学者已经对西双版纳的望天树种群的形态特征(朱华, 1992b)、种群的动态(赵学农等, 1990)、种子的散布与萌发(殷寿华和帅建国, 1990)以及望天树林的群落学特征、区系组成(朱华, 1992a, 1993)和乔木树种(DBH ≥ 10 cm)的多样性(Cao & Zhang, 1997)进行了研究。但是, 这些研究仅仅局限于西双版纳补蚌的范围较小的望天树群落, 而未涉及生境破碎化之后的种群结构与动态。为了解和掌握生境破碎化之后不同斑块的种群数量与密度、年龄结构及分布格局等动态变化规律, 我们选择不同大小、处在不同干扰方式下的斑块, 进行了种群密度、结构与动态的分析, 初步探讨了生境的破碎化对望天树种群的密度及结构的影响, 以及不同的干扰方式对望天树种群的密度及结构的影响。

1 自然地理概况

西双版纳地区主要受西南季风气候的控制, 属于西部型热带季风气候。据勐腊县气象站(海拔 632 m)多年的观测资料: 该地区年平均温度为 21 °C, 最热月平均温度为 25.6 °C, 最冷月平均温度为 13.1 °C, ≥10 °C 积温为 7 630 °C, 年日照时数约 1 850 h; 年均降雨量为 1 550 mm, 蒸发量为 1 665 mm, 年均相对湿度为 86%, 水热系数为 2.2; 干湿季交替明显, 雨季(5~10 月)占全年降水量的 80% 以上, 旱季(11 月~翌年 4 月)降雨量不到全年降水量的 20%, 但旱季浓雾弥漫, 尤以 11 月至次年 3 月为甚, 年均有雾日数达 192.5 d, 日雾露水量达 1 mm, 对减少植物蒸腾和弥补旱季水分不足起到一定的作用。望天树分布区的海拔高于县城, 且地处山地峡谷, 水湿条件要好于县城, 热量稍低于县城, 因此, 上述气象指标并不能完全体现望天树生长区域的水、热条件。望天树分布区土壤的发育母岩为紫色砂岩、页岩和泥岩。土壤除山脊外比较湿润肥沃, 土层较深厚, 一般达 90~120 cm, 质地为轻至重壤, 粒、块状结构, 受母岩发育影响, 土体多呈紫色。仅部分陡峭地段的岩石裸露, 土层较薄。取自 5 个不同斑块 40 个表层(0~25 cm)土壤的样品分析结果表明: 有机质含量为 3.2% 左右, pH 值为 5.5~6.5 (薛敬意等, 2003)。

2 望天树分布现状及其群落学特征

2.1 分布现状

根据对分布在西双版纳勐腊县的望天树的实地考察, 该地区的望天树林主要分布于勐腊县东南部的南沙河、白沙河、灰阴河、灰庚河、回都河和南杭河河流两侧山体下部较为陡峭的地方。望天树林在这里的存在可能得益于巍峨的南贡山, 该山高大的山体(海拔 2 007 m) 不仅阻挡了来自西伯利亚的寒冷气流, 而且对来自孟加拉湾的暖湿气流也起到了一定的阻截作用。望天树的分布区域三面环山, 向南开口的山前坡脚地段, 河流蜿蜒纵横, 水湿条件极适

于热带雨林的发育(朱华, 1992a)。根据野外实地考察及 1: 5 万地形图的实地勾绘, 采用 GIS 技术绘制成望天树种群的分布图(图 1), 并对各斑块面积进行了测算, 结果表明, 西双版纳望天树林主要分布在海拔 700~ 900 m 的范围内, 在南杭河的部分地段已分布到海拔 1 100 m 左右的山顶。并以大小不同的 22 个斑块呈破碎的条状和块片状分布, 较之以前的调查结果(朱华, 1992a) 更为破碎化。最小的斑块约为 0.45 hm², 最大的斑块约有 350 hm², 且周围均被农地所包围, 大部分斑块中种植有砂仁(*Amomum villosum*)。

2.2 群落学特征

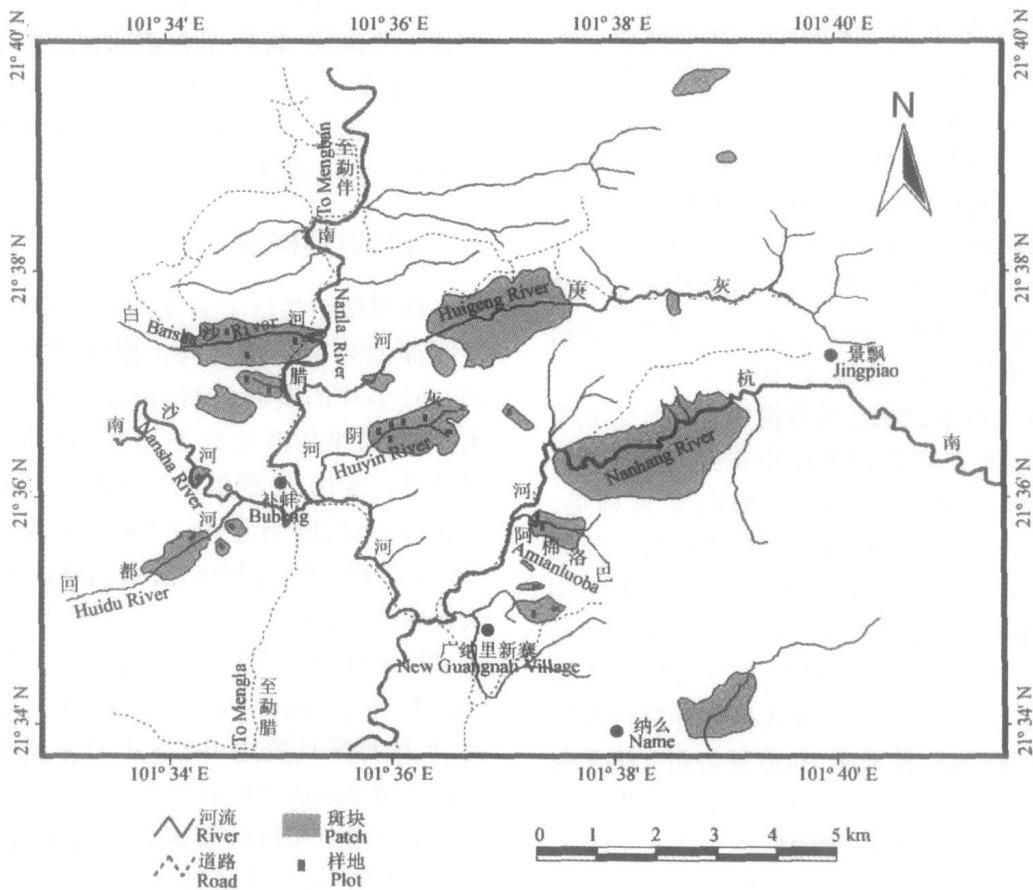


图 1 西双版纳望天树种群的分布
Fig. 1 Distribution of *Parashorea chinensis* population in Xishuangbanna

西双版纳的望天树林在群落的垂直结构上可分为乔木层、灌木层、草本层及层间植物, 其中乔木层可分为 4 个亚层(I、II、III、IV), I 层主要由望天树组成, 高达 40~ 70 m, 高于其它树种, 形成不完全连续的林冠, 盖度达 20%~ 30%。II 层高 30~ 40 m, 以绒毛番龙眼(*Pometia tomentosa*)、云树(*Garcinia*

cava)、青藤公(*Ficus langkokensis*)、红光树(*Knema fufuracea*)、梭果玉蕊(*Barringtonia fusicarpa*)、金钩花(*Pseuduaria indochinensis*)、白颜树(*Gironniera subaequalis*)、钝叶桂(*Cinnamomum bejolghota*) 等季节雨林的

树种的个体外, 主要有木奶果(*Baccaurea ramiflora*)、毒鼠子(*Dichapetalum gelonioides*)、溪桫(*Chisocheton paniculatus*) 和黑毛柿(*Diospyros atrotricha*) 等种类。IV层高 5~15 m, 以假海桐(*Pittosporopsis kerri*)、披针叶楠(*Phoebe lanceolata*)、灰岩棒柄花(*Cleidion bracteosum*)、阔叶蒲桃(*Syzygium latilimbum*)、勐腊核果木(*Drypetes hoensis*) 等种类较为常见。灌木层高 1~5 m, 主要由大量的乔木幼树和小树、藤本幼株和少量的灌木个体所组成, 较常见的灌木种类有染木树(*Saprosma ternatum*)、密花火筒(*Leea compactiflora*)、粗叶木(*Lasianthus* sp.)、细腺萼木(*Mycetia gracilis*)、异色假卫矛(*Microtropis discolor*)、云南九节(*Psychotria yunnanensis*) 等。草本层种类以柃叶(*Phrynium capitatum*)、刺苞老鼠(*Acanthus leucostachyus*) 占优势, 其它种类有尖果穿鞘花(*Amischotolype hookeri*)、巨序楼梯草(*Elatostemma megacephalum*)、木根治阶草(*Ophiopogon xylorrhizus*)、林下凤尾蕨(*Pteris grevilleana*) 和疣状三叉蕨(*Tectaria variolosa*) 等。层间藤本植物十分丰富, 多为木质藤本, 以毛果锡叶藤(*Tetracera scandens*)、弯刺山黄皮(*Randia bipinnosa*)、长节珠(*Parameria laevigata*)、全缘刺果藤(*Buettneria integrifolia*) 等最为丰富(朱华, 1992a)。

3 研究方法

3.1 样地的建立与调查方法

为了较全面地了解和掌握生境破碎化之后不同斑块上的望天树种群的数量及其动态, 根据望天树局部种群不同的斑块大小和山坡的长度、人为影响程度以及种群的生长发育阶段, 在南杭河、广纳里新寨后山、灰阴河、南沙河、回都河等 5 个地点, 沿山坡分别建立了 50 m × 20 m 或 100 m × 20 m 的不同数量的固定样地, 样地的基本情况参见表 1。

采用相邻格子样方法, 将建立在不同斑块上的 50 m × 20 m 或 100 m × 20 m 的样地分隔成 10 m × 10 m 的样方(每个样地 10 个或 20 个样方), 对样方内高度大于 50 cm 的望天树进行每木调查, 对胸径小于 2.0 cm 的幼树观测记录其基径、高度、冠幅及株数; 对胸径大于 2.0 cm 的植株调查记录其基径、胸径、树高和冠幅等因子, 并在胸径 1.3 m 处用红油漆作标志, 以定期观测其生长和死亡状况。同时, 在每个样方的右下角设置一个 2 m × 2 m 的小样方, 对高度小于 50 cm 的幼苗、幼株, 观测记录其基径、

高度和株数。

3.2 样木个体生物量的获取

在野外对新的风到木以及塌方处的望天树的不同大小的个体采用收获法测定生物量。小树按不同器官(茎、枝、叶、根)称取鲜重后取样; 对于大树则将树干锯断称重, 首先在基部、胸径(1.3 m)处锯取一个圆盘以作年轮生长分析测定。此后在基部、胸径圆盘上方、树干中部和顶部各取一个圆盘, 将圆盘在野外称取鲜重; 对于野外不能直接称重的粗大树干, 分段测量并计算体积, 取圆盘测其体积(排水法)和干重, 计算密度, 根据树干体积和密度得其干重。大枝采取与树干同样的方法锯断称重, 并在基部、中部和顶部各取一个圆盘称取鲜重, 另将新枝和老枝分别称重; 摘下树枝上所有的叶, 并收捡落叶, 将新叶、老叶及地上的叶分别称重。根则分为根茎、根桩、侧根($D \geq 2$ cm)、小根($0.5 \text{ cm} \leq D < 2 \text{ cm}$)、细根($D < 0.5 \text{ cm}$) 等不同级别, 同时顺着根系, 仔细将细根全部挖出, 分别称重。在称取以上各组份鲜重后, 及时采集、称取各组份的少量样品, 带回实验室进行烘干处理, 茎、根、枝的样品在 105 °C 下, 叶的样品在 75 °C 下烘干至恒重后称取干重。根据干鲜重之比计算各器官或组份的重量后, 求得整株个体的生物量。

3.3 样木个体年龄的确定

样木个体的年龄是通过采用树木年轮生长分析仪(TA 4030HF-S6, CID)测定样木个体的基部圆盘和胸径圆盘的年轮而得到的。测定前, 将野外带回的样木个体的茎(树干)的基径、胸径圆盘的表面刨光, 并通过圆盘的髓心画两条垂直线, 其中一条为圆盘的最大直径。在树木年轮生长分析仪下仔细清点样木个体各圆盘的年轮, 并测定每年的年轮宽度。由于西双版纳地处热带北缘, 存在明显的干湿季交替, 树木的生长存在明显的季节性变化, 望天树的年轮非常清楚。最大的基径和胸径圆盘在个别异常的年份出现假年轮, 不仅其年轮不完整, 而且年轮的宽度很小, 其色泽与正常的年轮也有所差异, 较易与正常的年轮区分, 将其排除。这样可以准确地获得样木个体的基径或胸径年龄以及每年的生长量。

3.4 种群个体年龄生长模型与生物量模型的建立

根据样木不同大小个体的生物量及基径或胸径的年龄, 采用多种线性和非线性回归方程加以拟合, 分别建立了望天树个体基径或胸径与年龄的回归模型及生物量模型, 并选择相关系数最高者作为推算

表 1 不同斑块望天树种群密度及样地概况
Table 1 Plot situation and density of *Parashorea chinensis* population in different patches

地点 Site	南杭河 Nanhang River	阿棉洛巴 Amianluoba	灰阴河 Huiyin River	南沙河 Nansha River	回都河 Huidu River
地理位置 Location	2° 36' 23" N, 10° 37' 07" E	2° 35' 50" N, 10° 37' 22" E	2° 36' 32" N, 10° 36' 16" E	2° 36' 19" N, 10° 34' 19" E	2° 35' 45" N, 10° 34' 25" E
斑块面积 Patch area (hm ²)	0.4	8.0	40.0	1.0	5.0
样地数 No. of plot	1	3	4	1	3
样地总面积 Total area of plot (hm ²)	0.1	0.5	0.7	0.2	0.3
种群密度 Population density (ind. • hm ⁻²)	19 901	21 876	5 788	7 363	1 219
海拔 Altitude (m)	780~ 880	700~ 830	685~ 850	700~ 750	750~ 850
盖度 Coverage (%)	70	65	85	80	80
pH	5.8	5.4	5.9	5.6	6.1
有机质 Organic matter (%)	2.7	3.5	2.1	2.6	2.9
受干扰程度 Disturbed degree	大 Heavy	较大 Heavier	最小 Little	小 Minor	最大 Heaviest
受干扰方式 Disturbed ways	该斑块不在自然保护区内。斑块面积最小, 周围均是农地, 群落中其它乔木被人为砍伐, 且黄竹已侵入该斑块中 This patch is the smallest among the studied ones and out of nature reserve, as well as surrounded by farmland. Some trees were cut. <i>Dendrocalamus membranaceus</i> has invaded in this patch	斑块中部分地段上其它乔木被砍伐, 且不在自然保护区中。人为干扰较多, 坡下部已种植砂仁 This patch is out of nature reserve. Some trees were cut. <i>Amomum villosum</i> was planted in lower slope	位于自然保护区, 离村寨较远, 人为干扰很少 This patch is in nature reserve and far from village, and less disturbed	位于自然保护区的边缘, 受到的人为干扰较少 This patch is at the edge of nature reserve and is disturbed	虽位于自然保护区, 但林下已大量种植砂仁 This patch is in nature reserve but seriously disturbed because <i>Amomum villosum</i> was planted in the forest

个体年龄与生物量的优化回归模型。

4 结果与分析

4.1 不同斑块望天树种群的密度与数量

不同斑块望天树种群的密度状况如表 1 所示。由表 1 可知: 种群密度最小的是林下种植砂仁的斑块(回都河), 种群密度仅有 1 219 株•hm⁻²; 其次是保护完好、受人为干扰最小的灰阴河, 种群密度为 5 788 株•hm⁻²; 两块人为干扰较严重, 群落中部分其它乔木被砍伐的斑块——南杭河和阿棉洛巴的种群密度最大, 分别为 19 901 和 21 876 株•hm⁻², 大约是林下种植砂仁的斑块(回都河)的 16~ 18 倍, 是保护

完好、受人为干扰最小的灰阴河的种群密度的 3~ 4 倍, 表明不同斑块间的种群密度差异很大 ($p < 0.001$)。这主要是由于望天树种群生境的破碎化, 各个斑块的望天树种群所处的生境及母树数量、结实状况以及所受到的干扰程度和方式不同, 致使各斑块在种子数量、萌发及幼苗建成等方面也不相同, 造成各斑块局部种群密度上的较大差异。

4.2 不同斑块望天树种群的年龄结构及存活曲线
4.2.1 不同阶段望天树个体的生长与年龄的回归模型

龙脑香科植物通常在林下形成一个幼苗库, 其生长可分为耐荫和需光两个阶段(Ashton, 1998)。

望天树在幼苗、幼树阶段可忍耐上层树种的荫蔽, 这时候生长较为缓慢; 当发育到小树阶段后, 不论是高度生长, 还是加粗生长都开始加快。为了较全面地了解和掌握不同生长发育阶段望天树种群个体的基径或胸径生长与年龄的关系, 根据野外对风倒、塌方处不同大小望天树个体的年轮及基径、胸径与高度的调查数据和前人的数据资料(优良速生树种调查组, 1975), 以种群个体的年龄为横轴, 种群个体的基径或胸径为纵轴, 采用多种常见的线性和非线性回归方程逐一加以拟合, 从中选取相关系数最高者作为回归模型(图 2)。结果显示, 按多项式方程进行拟合的回归模型相关系数最高(图 2, 实线)。不同

生长发育阶段望天树个体的基径或胸径随年龄增长的回归模型为:

$$\text{基径: } Y = 0.0039X^2 + 0.0720X + 0.1213$$
$$R^2 = 0.9932 \ (n = 14, p < 0.001) \ (1 < X < 15) \quad (1)$$
$$\text{胸径: } Y = 0.0037X^2 + 0.0823X - 0.5067$$
$$R^2 = 0.9982 \ (n = 46, p < 0.001) \ (X > 15) \quad (2)$$

上述拟合的两个望天树种群个体的基径和胸径随年龄增长的回归模型的相关系数均达到极显著水平($p < 0.001$), 很好地反映了望天树种群个体在不同的生长发育阶段随时间变化的情况。式中, Y 为基径或胸径(cm), X 为年龄(a), n 为株数。

4.2.2 种群的年龄结构

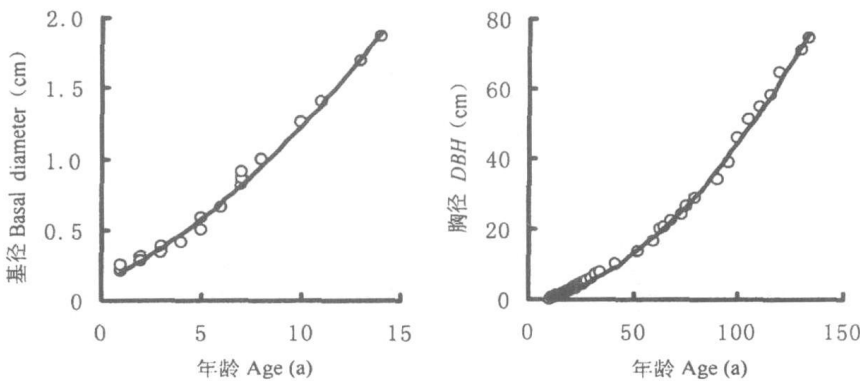


图 2 西双版纳望天树种群个体的基径和胸径随年龄变化的生长曲线
Fig. 2 Growth curves of individual basal diameter and diameter at breast height (DBH) of *Parashorea chinensis* with age change in Xishuangbanna
○: 实测值 Observed values —: 模拟曲线 Simulated curves

根据各斑块的种群调查数据以及上述拟合的基径和胸径与年龄的回归模型(1) 和(2), 对不同大小的望天树种群个体的年龄进行推算, 得到各斑块望天树种群个体的年龄。由于望天树的幼苗、幼树及小树的个体数量较大, 而中树至大树的个体数量较少, 为了比较客观地反映望天树种群的年龄结构, 根据不同龄级个体数量的实际情况, 并参照赵学农等(1990) 对望天树种群不同龄级的划分标准, 将望天树不同龄级的个体做如下划分: I 级为 1 年生种苗, II 级为 1~ 5 年生幼苗, III 级为 5~ 10 年生幼树, 此后, 每 30 年为一个龄级。根据此划分标准, 对各个斑块不同年龄的望天树种群个体进行综合整理, 得到各个斑块及整个望天树种群不同龄级的个体数量(表 2 中的 α) 及其年龄结构(图 3)。

由图 3 可知, 面积最小的南杭河斑块局部种群的年龄结构虽呈金字塔型, 具有丰富的幼苗、幼树及小树的个体数量, 但成熟个体数量很少, 尤其缺乏胸

径 60 cm (VI 级) 以上的个体。阿棉洛巴斑块的局部种群同样为金字塔型, 具有丰富的幼苗和幼树。自幼树(II 级) 后, 虽然各龄级都具有一定的个体, 但数量已急剧减少。灰阴河和南沙河两个斑块局部种群的年龄结构, 不仅具有极为丰富的幼苗、幼树个体, 而且自幼树后各龄级都具有较丰富的个体数量, 呈典型的金字塔型。受人为干扰最为严重、林下种植砂仁的回都河斑块, 与其它斑块局部种群的年龄结构有所不同, 其年龄结构近似金字塔型, 虽然具有一定数量的幼苗、幼树, 且各龄级的个体连续, 但 II 级(5~ 10 cm) 和 IV 级(10~ 30 cm) 的个体数量相对缺乏。V 级个体数量稍有增加, 但增加的幅度较少。需要特别指出的是, 林下种植砂仁的回都河斑块, 虽然在调查时具有一定数量的幼苗、幼树, 由于对砂仁的抚育管理以及砂仁的克隆生长对其幼苗更新的影响, 幼苗和幼树均将遭到一定的破坏, 其数量将有所减少。综合 5 个不同斑块的局部种群的年龄结构,

表 2 西双版纳不同斑块及整个望天树种群的静态生命表

Table 2 A static life-table of local populations on different patches and entire population of <i>Parashorea chinensis</i> in Xishuangbanna									
地点 Site	x	ax	lx	dx	qx	Lx	Tx	ex	$\log(ax)$
南杭河 Nanhang River	0~1	11 000	10 000	2 492	0.249 2	8 754.0	13 041.0	1.303 2	4.041 4
	1~5	8 250	7 508	7 044	0.938 2	3 986.0	4 287.0	0.571 0	3.916 5
	5~10	510	464	409	0.881 5	259.5	301.0	0.648 7	2.707 6
	10~30	60	55	46	0.836 4	32.0	41.5	0.754 5	1.778
	30~60	10	9	9	1.0	4.5	9.5	1.055 6	1.000
	60~90	0	0	0	0	2.5	5.0	-	0.000
	90~120	5	5	5	1.0	2.5	2.5	0.500 0	0.699
	120~150	0	0						
阿棉 洛巴 Amian- luoba	0~1	12 450	10 000	3 830	0.383 0	8 085.0	12 570.0	1.257 1	4.095 2
	1~5	7 682	6 170	5 144	0.833 7	3 598.0	4 485.0	0.726 9	3.885 5
	5~10	1 278	1 026	753	0.733 9	649.5	887.0	0.864 5	3.106 5
	10~30	340	273	233	0.853 5	156.5	237.5	0.870 0	2.531 5
	30~60	50	40	14	0.350 0	33.0	81.0	2.025 0	1.699 0
	60~90	32	26	8	0.307 7	22.0	48.0	1.846 2	1.505 1
	90~120	22	18	4	0.222 2	16.0	26.0	1.444 4	1.342 4
	120~150	18	14	11	0.785 7	8.5	10.0	0.714 3	1.255 3
	150~180	4	3	3	1.0	1.5	1.5	0.500 0	0.602 1
	180~210	0	0						
灰阴河 Huiyin River	0~1	2 536	10 000	3 297	0.329 7	8 351.5	17 828.0	1.782 8	3.404 1
	1~5	1 700	6 703	1 703	0.254 1	5 851.5	9 476.5	1.413 8	3.230 4
	5~10	1 268	5 000	4 440	0.888 0	2 780.0	3 625.0	0.725 0	3.103 1
	10~30	142	560	386	0.772 0	367.0	845.0	1.508 9	2.152 3
	30~60	44	174	4	0.023 0	172.0	478.0	2.747 1	1.643 4
	60~90	43	170	12	0.070 6	164.0	306.0	1.800 0	1.633 5
	90~120	40	158	115	0.727 8	100.5	142.0	0.898 7	1.602 1
	120~150	11	43	17	0.395 3	31.5	41.5	0.965 1	1.041 4
	150~180	5	20	20	1.0	10.0	10.0	0.500 0	0.699 0
	180~210	0	0						
南沙河 Nansha River	0~1	3 375	10 000	1 489	0.148 9	9 755.5	16 823.0	1.682 3	3.528 3
	1~5	3 210	9 511	7 689	0.808 4	5 666.5	7 067.5	0.743 1	3.506 5
	5~10	615	1 822	1 496	0.821 1	1 074.0	1 401.0	0.768 9	2.788 9
	10~30	110	326	267	0.819 0	192.5	327.0	1.003 1	2.041 4
	30~60	20	59	29	0.491 5	44.5	134.5	2.279 7	1.301 0
	60~90	10	30	0	0.000 0	30.0	90.0	3.000 0	1.000 0
	90~120	10	30	15	0.500 0	22.5	60.0	2.000 0	1.000 0
	120~150	5	15	0	0.000 0	15.0	37.5	2.500 0	0.699
	150~180	5	15	0	0.000 0	15.0	22.5	1.500 0	0.699
	180~210	5	15	15	1.000 0	7.5	7.5	0.500 0	0.699
回都河 Huidu River	0~1	583	10 000	4 117	0.411 7	7 941.5	13 455.5	1.345 6	2.765 7
	1~5	343	5 883	4 974	0.845 5	3 396.0	5 514.0	0.937 3	2.535 3
	5~10	53	909	103	0.113 3	857.5	2 118.0	2.330 0	1.724 3
	10~30	47	806	0	0.000 0	1 260.5	1 260.5	1.563 9	1.672 1
	30~60	100	1 715	566	0.330 0	1 432.0	2 315.5	1.350 1	2.000
	60~90	67	1 149	926	0.805 9	686.0	883.5	0.768 9	1.826 1
	90~120	13	223	137	0.614 3	154.5	197.5	0.885 7	1.113 9
	120~150	5	86	86	1.000 0	43.0	43.0	0.500 0	0.699 0
	150~180	0	0						
整个种群 Entire population	0~1	5 989	10 000	2 924	0.292 4	8 538.0	13 725.0	1.372 5	3.777 4
	1~5	4 237	7 076	5 832	0.824 2	4 160.0	5 187.0	0.733 0	3.627 1
	5~10	745	1 244	1 010	0.811 9	739.0	1 027.0	0.825 6	2.872 2
	10~30	140	234	160	0.683 8	154.0	288.0	1.230 8	2.146 1
	30~60	44	74	24	0.324 3	62.0	134.0	1.810 8	1.643 4
	60~90	30	50	20	0.400 0	40.0	72.0	1.440 0	1.477 1
	90~120	18	30	18	0.600 0	21.0	32.0	1.066 7	1.255 3
	120~150	7	12	9	0.750 0	7.5	11.0	0.916 7	0.845 1
	150~180	2	3	1	0.333 0	2.5	3.5	1.166 7	0.301 0
	180~210	1	2	2	1.000 0	1.0	1.0	0.500 0	0.000 0
	210~240	0	0						

x : 年龄区间 Age interval (a) ax : x 区间实际存活数 Surviving numbers observed within each interval (ind. $\cdot$ hm^{-2}) lx : x 区间标准化的存活数 Standardized numbers survived within each interval dx : 从 x 到 $x+1$ 期的标准化死亡数 Standardized death numbers from x to $x+1$ interval qx : 各区间的个体死亡率 Individual mortality rate within each interval, $qx = dx / lx$ Lx : 从 x 到 $x+1$ 区间平均存活的个体数 Average numbers of surviving individuals from x to $x+1$ interval $Lx = (lx + (lx+1))/2$ Tx : 区间 x 及其以上区间的个体存活总数 Total number of surviving individuals in interval x and above, $Tx = \sum Lx$ ex : 进入 x 区间个体的平均生命期望, 可理解为平均每个个体在现有年龄之后还能存活年龄间隔期的倍数, 如南杭河斑块, $ex = 0.754\ 5$, x 为 10~30, 那么这时平均每个个体还能存活 $0.754\ 5 \times 20 = 15.09$ 年 The ex represents mean life expectation of individuals within each interval, $ex = Tx / lx$. The ex can be considered as the times of the age interval which mean each individual can survive after this age, such as the local population in the patch in Nanhang River, $ex = 0.754\ 5$, x is from 10 to 30, and then the surviving time of mean each individual is $0.754\ 5 \times 20 = 15.09$ year

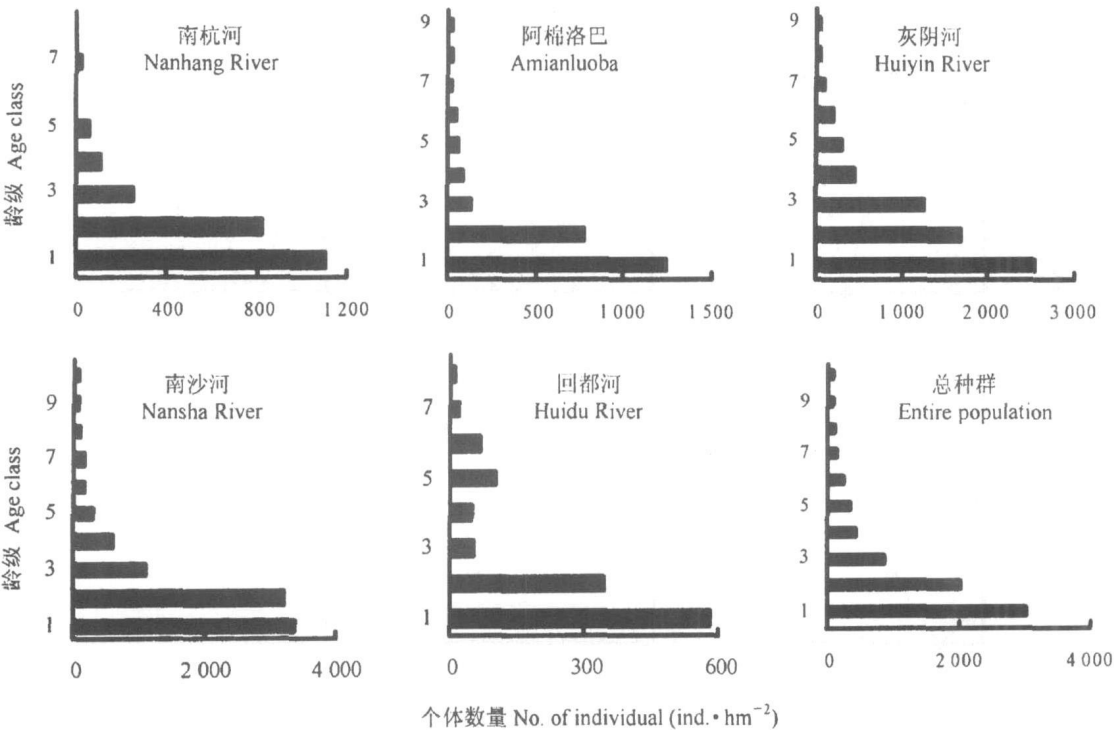


图3 不同斑块及整个望天树种群的年龄结构图

Fig. 3 Age structures of local populations on different patches and entire population of *Parashorea chinensis* in Xishuangbanna

整个望天树种群的幼苗、幼树及小树的个体数量极为丰富,各龄级的个体数量连续,整个种群的年龄结构呈金字塔型,表明现阶段的望天树种群为增长型种群。

4.2.3 种群的静态生命表

根据不同斑块望天树局部种群的野外调查资料,按照上述种群各龄级的划分标准,编制成不同斑块望天树局部种群及整个望天树种群的静态生命表(表2)。由于回都河斑块的局部种群林下种植砂仁,而在砂仁的抚育管理中,通常对胸径约5 cm以下的个体产生较大的危害,因而对幼苗、幼树及小树的个体数量以及对整个种群的数量与结构产生较大的影响,故采取了分阶段编制生命表的方法来分析其动态,以便较客观地反映不同龄级种群个体的存活与死亡动态,即以30龄(Ⅳ级)为临界点,将其划分为30龄(Ⅳ级)前和30龄(Ⅳ级)后两个阶段。由于不同的斑块所处生境及所受到的干扰方式不同,不同斑块上的局部种群在不同年龄阶段的死亡、存活数量也有所不同(表2)。从图4和图5可见,斑块面积最小、群落中部分乔木被砍伐的南杭河斑块的局部种群除一年生幼苗的死亡率较低外,幼树、小树和大树的死亡率均较高,而且还出现了大树阶段龄

级缺省的现象。同样,群落中部分乔木被砍伐的阿棉洛巴斑块,一年生种苗的死亡率较低,幼苗、幼树和小树的死亡率较高(30龄前),此后,死亡率较低,并呈逐渐减少的趋势;至120龄以后,死亡率较高。受人为干扰最少的灰阴河斑块,5龄以前的幼苗、幼树的死亡率较低,5龄至30龄间的个体死亡率较高;此后,死亡率较小;90龄以后,死亡率上升,并呈波浪式递增。处于保护区边缘的南沙河斑块,同样是一年生种苗的死亡率较低,30龄前的死亡率较高,但10龄以后死亡率逐渐降低,直到180龄个体进入老龄阶段后,死亡率才又增大。林下种植砂仁和受人为干扰最严重的回都河斑块,在30龄前,只是在幼树阶段(1~5龄)的死亡率较高,5龄后死亡率下降;30龄后个体的死亡率随年龄呈波浪式递增,且保持在较高的水平。综合分析各个斑块局部种群不同龄级的个体死亡状况,种群年龄结构具有丰富的幼龄个体,而成年个体少,种群的死亡曲线大多呈凹型(图4)。整个望天树种群在种苗阶段(0~1龄)的个体死亡率较低,幼龄个体(1~30龄)死亡率较高,在中龄至成熟个体阶段(30~120龄)死亡率较低,150龄后个体的死亡率又增大。至180龄后,由于种群的生理衰退,出现植株个体死亡高峰。

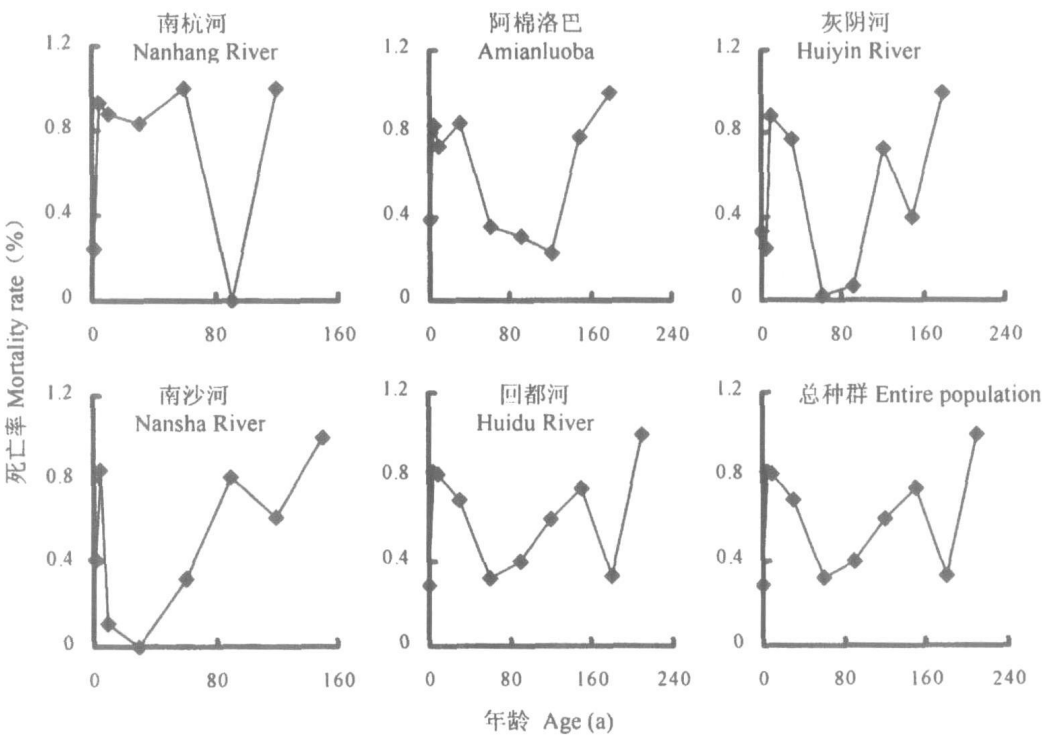


图 4 西双版纳不同斑块及整个望天树种群特定年龄死亡率

Fig. 4 Age-specific mortality rate of local populations on different patches and entire population of *Parashorea chinensis* in Xishuangbanna

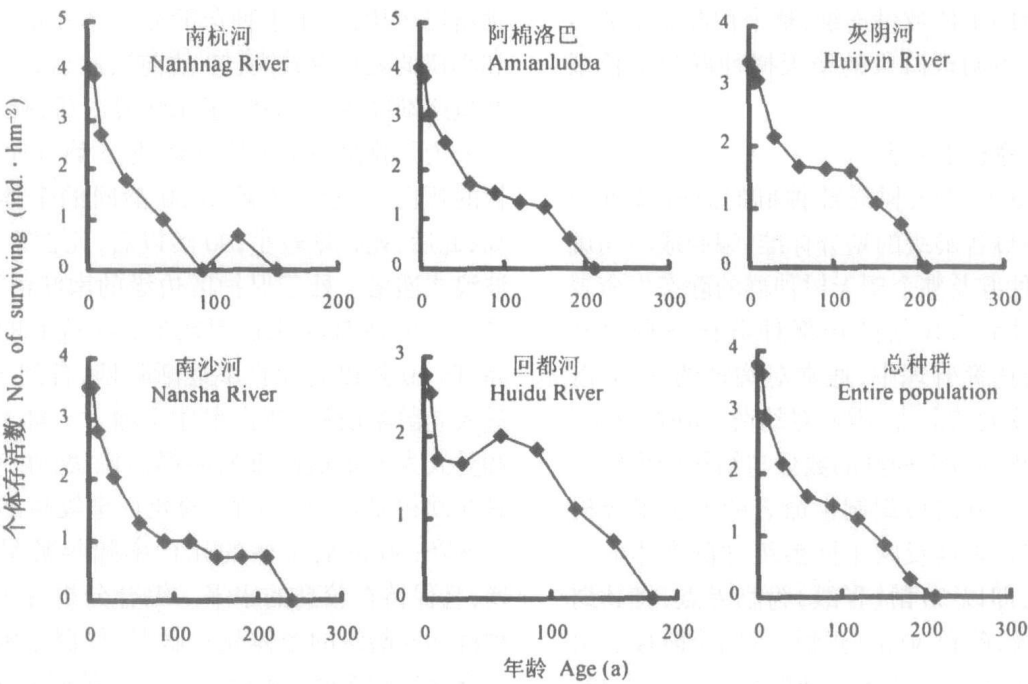


图 5 西双版纳不同斑块及整个望天树种群特定年龄存活曲线

Fig. 5 Agespecific survivorship curves of local populations on different patches and entire population of *Parashorea chinensis* in Xishuangbanna

4.2.4 种群的存活曲线及年龄结构模型

根据表 2 数据, 将对数化后的龄级和现存个体数分别作为横轴和纵轴, 绘出不同斑块的局部种群

及整个望天树种群的双对数存活曲线(图 6)。从表 2 可以看出, 除林下种植砂仁的回都河局部种群外, 其它斑块的局部种群和整个望天树种群的图形近似

一条直线, 按照 Leak (1975) 的划分标准, 目前的望天树种群是稳定增长型种群。而回都河斑块的局部种群因林下幼苗相对较少, 加之对砂仁的抚育管理会对幼苗和幼树造成破坏, 其现阶段的种群存活曲线近似凸型, 应为衰退型种群。对其它斑块的局部种群和整个望天树种群进行回归分析, 得到各斑块局部种群和整个望天树种群的年龄结构模型:

南 杭 河: $\log Y = 4.616\ 3 - 2.041\ 3\log X$ 或 $Y = 41\ 333.292\ 4X^{-2.041\ 3}$ ($R^2 = 0.922\ 9$, $p < 0.001$) (3)

阿棉洛巴: $\log Y = 4.653\ 9 - 1.684\ 5\log X$ 或 $Y = 45\ 071.291\ 2X^{-1.684\ 5}$ ($R^2 = 0.917\ 7$, $p < 0.001$) (4)

灰 阴 河: $\log Y = 3.977\ 2 - 1.350\ 8\log X$ 或 $Y = 9\ 488.553\ 3X^{-1.350\ 8}$ ($R^2 = 0.855\ 8$, $p < 0.001$) (5)

南 沙 河: $\log Y = 4.072\ 2 - 1.519\ 3\log X$ 或 $Y = 11\ 808.643\ 2X^{-1.519\ 3}$ ($R^2 = 0.938\ 6$, $p < 0.001$) (6)

整个种群: $\log Y = 4.335\ 5 - 1.614\ 3\log X$ 或 $Y = 21\ 652.098\ 8X^{-1.614\ 3}$ ($R^2 = 0.918\ 9$, $p < 0.001$) (7)

上列拟合的各斑块局部种群和整个种群的年龄结构模型(3)~(7)的相关系数均较高, 经统计检验都达到显著性水平, 表明拟合的模型均较好地反映了种群的年龄结构。式中 Y 为个体数(株·hm⁻²), X 为年龄(a)。

4.3 不同斑块望天树种群的生物量动态

4.3.1 不同生长发育阶段望天树种群的生物量模型

生物量模型的建立通常采用胸径(D)、树高(H)或胸径平方乘以树高(D^2H)为自变量拟合的回归方程, 因为它能比较真实地反映生物量随胸径和树高变化的趋势。为避免因树高估测的误差对个体生物量测定的影响, 本研究以胸径平方(D^2)为自变量对望天树个体的生物量进行拟合。根据野外对风倒、塌方处望天树不同大小个体的生物量调查数据资料, 对于胸径为 2.0 cm 以下的个体, 以基径的平方为自变量, 而对于胸径 2.0 cm 以上的个体以胸径的平方为自变量分别对不同生长发育阶段的望天树个体的生物量进行回归分析。以基径或胸径的平方为横轴, 个体的生物量为纵轴, 得到望天树个体生物量随基径或胸径变化的散点图(图 7)。并采用多种线性和非线性的回归方程对其进行回归分析, 结果显示, 以幂函数拟合的生物量模型的相关系数最高, 其个体生物量模型为:

$W_{\text{基径}} = 41.907(D^2)^{2.992\ 4}$, $R^2 = 0.976\ 1$ ($n = 17$, $p < 0.001$) ($0 < D \leq 2.0\text{ cm}$) (8)

$W_{\text{胸径}} = 0.124\ 6(D^2)^{2.583\ 2}$, $R^2 = 0.998\ 4$ ($n = 8$,

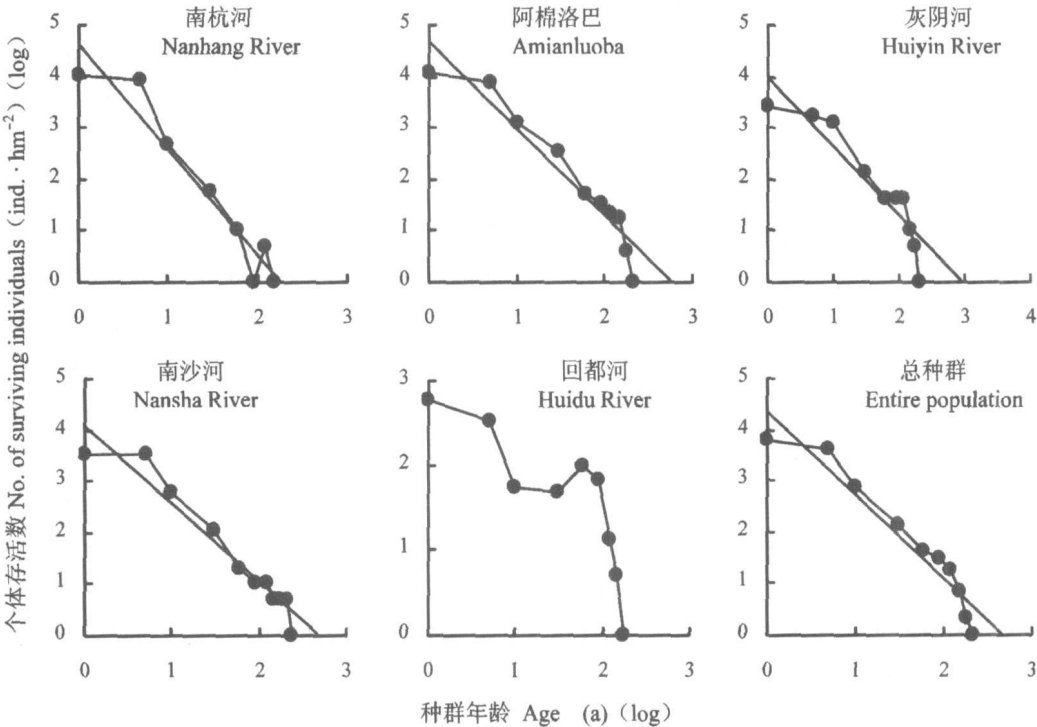


图6 西双版纳不同斑块及整个望天树种群的双对数存活曲线(点连线是观测值, 直线是模拟值)

Fig.6 Survivorship curves of individual number (log) vs. age (log) for local populations on different patches and entire population of *Parashorea chinensis* in Xishuangbanna (dot lines show observed values, and straight lines show simulated values)

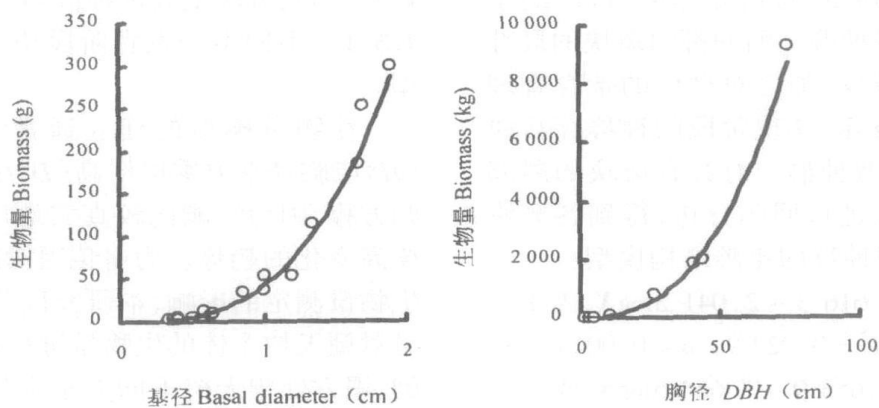


图 7 望天树种群个体生物量随基径和胸径变化的动态曲线
Fig. 7 Biomass dynamics of individual with basal diameter and diameter at breast height (DBH) growth for *Parashorea chinensis* population
○: 实测值 Observed values —: 模拟曲线 Simulated curves

$p < 0.001$) ($D > 2.0\text{ cm}$) (9)
式中, W 为生物量(g 或 kg), D 为基径或胸径(cm), n 为株数。经检验, 两个模型都达到极显著水平, 表明拟合的生物量模型较好地反映了不同生长阶段望天树种群个体的生物量动态。

4.3.2 不同斑块望天树局部种群及整个种群的生物量动态

根据上述拟合的不同生长阶段的生物量模型(8)和(9), 对不同斑块上的个体生物量进行推算, 得到各斑块不同龄级间的生物量。以种群年龄为横轴, 种群生物量为纵轴, 得到种群生物量随时间变化的图像(图 8)。从图 8 可知, 不同斑块的局部种群和整个种群生物量随着年龄的变化近似于 Logistic 增长。利用 SigmaPlot 软件按 Logistic 方程对不同斑块的局部种群和整个种群生物量进行模拟, 得到以下各斑块局部种群和整个种群生物量增长模型:

南杭河: $W = 41\,793.662\,6 / (1 + 0.010\,3t^{-12.637})$
($R^2 = 0.999\,9$, $p < 0.000\,1$) (10)

阿棉洛巴: $W = 184\,885.945\,6 / (1 + 0.005\,89t^{-4.988\,4})$
($R^2 = 0.999\,9$, $p < 0.000\,1$) (11)

南沙河: $W = 279\,278.263\,6 / (1 + 0.006\,13t^{-13.412\,5})$
($R^2 = 0.999\,9$, $p < 0.000\,1$) (12)

灰阴河: $W = 183\,253.418 / (1 + 0.007\,85t^{-5.955\,7})$
($R^2 = 0.999\,9$, $p < 0.000\,1$) (13)

回都河: $W = 78\,046.856 / (1 + 0.008\,69t^{-3.808\,8})$
($R^2 = 0.999\,9$, $p < 0.000\,1$) (14)

整个种群: $W = 77\,969.270 / (1 + 0.009\,62t^{-7.016\,7})$
($R^2 = 0.999\,9$, $p < 0.000\,1$) (15)

经检验, 上述拟合的各斑块局部种群和整个种

群生物量动态模型(10)~(15)都达到极显著水平($p < 0.000\,1$), 表明拟合的模型很好地反映了各斑块局部种群和整个种群生物量随时间变化的动态过程。

从图 8 可知, 各斑块局部种群的最大生物量以及生物量随时间的动态变化存在较大差异。南杭河的局部种群在 120 龄前符合 Logistic 增长, 120 龄左右达到其生物量积累的最大值($39\,073.29\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 接近其最大生物量(W_k)($41\,793.66\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 此后, 由于生长速度和个体的死亡, 种群生物量呈不断下降的趋势。位于阿棉洛巴的局部种群在 150 龄前符合 Logistic 增长, 在 150 龄左右达到其生物量积累的最大值($169\,511.51\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 接近其最大生物量(W_k)($184\,885.95\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 150 龄后种群生物量不断下降。南沙河的局部种群则在 180 龄前符合 Logistic 增长, 在 180 龄左右达到其生物量积累的最大值($269\,386.65\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 接近其最大生物量(W_k)($279\,278.26\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 180 龄后种群生物量下降。灰阴河的局部种群在 120 龄前符合 Logistic 增长, 120 龄左右达到其生物量积累的最大值($137\,401.718\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 接近其最大生物量(W_k)($183\,253.418\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 150 龄后种群生物量下降。回都河局部种群生物量同样是在 120 龄前符合 Logistic 增长, 120 龄左右达到其生物量积累的最大值($63\,740.412\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 接近其最大生物量(W_k)($78\,046.856\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 120 龄后种群生物量下降。各斑块局部种群生物量及其随时间变化的差异, 反映了各斑块种群的密度及年龄结构上的不同, 这也是各斑块生境的差异对局部种群影响的综合体现。

综合各斑块局部种群生物量的动态变化, 整个

望天树种群的生物量在 180 龄前呈 Logistic 增长, 180 龄左右达到其生物量积累的高峰(77 208. 311 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 接近其最大生物量 (W_k) (77 969. 27 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 180 龄后种群生物量下降。

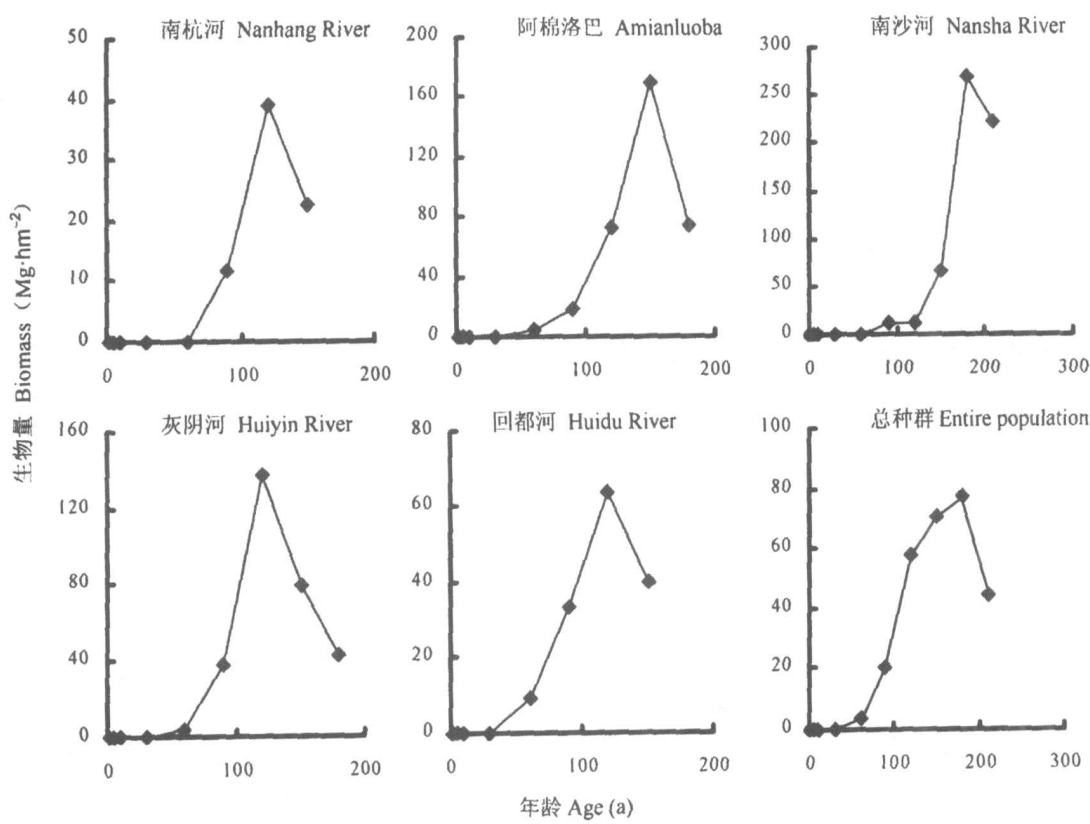


图 8 西双版纳望天树不同斑块局部种群及整个种群的生物量动态
Fig. 8 Biomass dynamics of local populations on different patches and entire population of *Parashorea chinensis* in Xishuangbanna

5 讨 论

5.1 生境破碎化后的望天树局部种群是集合种群吗?

人们生产活动的日益扩大,加重了望天树种群生境的破碎化,从 1992 年的 16 个斑块扩大到如今的 22 个斑块。分布在研究区域的 22 个局部种群(图 1)相互之间的距离有的很近,不足 1 km,大多在 1~ 2 km 范围内,不仅基因交流较为频繁,个体迁移(种子传播)也容易实现;有些种群相距 5~ 10 km,个体迁移(种子传播)相对困难。Levins (1969)认为,这些局部种群应为集合种群(Metapopulation)。该理论认为,由于各种原因造成生物种群的破碎化,形成在空间上有一定距离的生境斑块(Habitat patch);栖息地的破碎化,使得一个较大的生物种群被分割成许多小的局部种群(Local population)。由于破碎化的栖息地生境的随机变化,致使那些被分割的小的局部种群随时都有可能发生随机灭绝,同

时,个体在生境斑块间的迁移作用又为在尚未被占据的生境斑块内建立新的局部种群提供了可能(Levins, 1969; Hanski, 1991)。因此可以认为,除去几个相距较远的局部种群外,在该区域相互之间距离较近的各局部种群形成望天树的一个集合种群。

5.2 种群密度与自然干扰的关系

种群大小与种群数量和密度密切相关,通常小的种群趋向于较低的密度(Rossum *et al.*, 2002)。然而,本研究中处于人为严重干扰下的最小的南杭河斑块及阿棉洛巴斑块的局部种群的密度是保护完好、受人为干扰最小的灰阴河局部种群密度的 3~ 4 倍,是南沙河局部种群密度的 2~ 3 倍。这主要是因为林下幼苗数量较多(这两个斑块的种苗(0~ 1 龄)和幼苗(1~ 5 龄)的数量是灰阴河和南沙河两个斑块的 3~ 4 倍(表 2)),导致种群密度较大。林下的幼苗数量较多与斑块中部分乔木被砍伐、林分中光照的增强有关。Ashton (1998)对东南亚热带雨林中龙脑香科植物的研究发现,种子需要部分荫蔽以利

其萌发和种苗的生存, 幼苗则需要增加光照来满足幼苗建成和生长的需求; 各种不同的自然干扰如树木的倒伏、林窗的形成、昆虫对上层树冠叶片的啃食等所导致的光照的增加都有利于促进林下幼苗的生存和生长。两个部分乔木被砍伐的斑块与保护完好的灰阴河和南沙河两个斑块相比, 不仅上层有部分荫蔽, 而且光照要比两个保护完好的斑块强, 因此其种子的萌发和幼苗的生存得到了适宜的条件, 幼苗数量较多。另一方面, 望天树种子的成熟季节正逢雨季(8月), 据观察, 两个保护完好的斑块林下非常阴暗潮湿, 许多种子和萌发后的种苗在荫蔽的林地上发生霉烂现象, 致使幼苗的成活率低, 从而导致其局部种群的密度较低。然而, 这两个斑块上的局部种群较为丰富的幼苗、幼树以及年龄结构上的连续性, 预示了种群的持续生存和发展。

5.3 局部种群与整个种群的关系

望天树种群生境的破碎化以及所受到的各种干扰方式的不同, 已使各个局部种群在密度、结构及生物量上产生了较大的差异。就局部种群与整个种群的关系而言, 除林下种植砂仁的回都河斑块的局部种群外, 其它局部种群的年龄结构均呈金字塔型, 幼苗、幼树十分丰富, 其存活曲线呈凹型或直线型, 表明各局部种群为稳定增长型, 从而使目前分布于该区域的整个种群为稳定增长型。但本研究中位于南杭河面积最小的斑块成熟个体数量很少, 尤其缺乏胸径为 60 cm(Ⅵ级) 以上的个体, 虽然目前幼苗、幼树的数量较多, 种群密度较高, 但其幼苗(1~5 龄) 的死亡率极高, 加之破碎化的生境所带来的对种群生存的不利影响, 使这一斑块的局部种群的生存处于非常危险的境地。因为生境的破碎化不仅改变了种群栖息地的生境, 而且使维持种群生存的生境面积日趋减少; 破碎化的生境相互之间的隔离程度也越来越大, 局部种群之间的基因交流也在逐渐减少(Magura *et al.*, 2001), 由此种群灭绝的可能性也随之增大(Brooks *et al.*, 2002)。同时处在分离状态下的小种群, 不仅其繁殖能力将会减弱, 使种子的数量减少, 而且种子的萌发、幼苗的建成以及种群的更新能力等方面也受到影响, 这是危及种群生存的最重要的因素(Weiss & Mahn, 1996; Mengers, 1991)。面积最小的南杭河局部种群幼苗(1~5 龄) 极高的死亡率已验证了这一点。处于人为严重干扰下的阿棉洛巴斑块也面临同样严重的问题。目前在区域与其斑块面积相近或略小的斑块达 10 余个, 因受到人力、物力和时间的限制, 或因地形陡峭、路途遥远, 对

这些局部种群进行调查很不易。据实地考察, 大多数的斑块所受到的干扰方式与干扰程度基本一致。有的斑块处于自然保护区外, 受到更为严重的干扰, 如在许多斑块中, 当地居民在林下种植砂仁, 在砂仁的抚育和管理过程中, 林下所有的幼苗、幼树被砍除; 而且砂仁的克隆生长使林下更新更为困难, 幼苗难以生长, 使种群失去了个体补充的基础和来源。种植砂仁的回都河斑块的种群密度仅为保护完好的灰阴河和南沙河两个斑块的 1/5~1/6, 个体流失达 80% 以上。这些斑块的生境条件仍在不断恶化, 已严重影响到种群的繁殖和更新能力。如果这些局部种群消失或灭绝, 必然影响到整个种群的数量和密度, 甚至危及整个种群的生存。

5.4 保护对策

针对目前望天树种群的现状, 特提出以下保护措施: 1) 对各小斑块周围的农地实行退耕还林, 减少人为干扰, 加强各斑块周围环境的保护, 改善其生境条件, 以利于小的局部种群的繁殖更新和种群的扩散。2) 将位于保护区外的部分斑块划入保护区内, 使这些斑块上的局部种群得到有效的保护。3) 严禁在有望天树的地段种植砂仁, 在已种植的地段将砂仁拔除, 以改善望天树种子萌发和幼苗生长的生境条件, 提高种群的繁殖更新能力。4) 望天树是优质用材, 不仅材质好, 而且生长较快, 出材率高。根据望天树幼苗和幼树阶段的生长需要适当荫蔽的特点, 结合退耕还林工程, 对望天树进行人工造林。同时, 可在保护区内和国有林的次生林中进行人工种植, 以扩大其种群数量及生存范围。5) 加大宣传力度, 提高当地居民保护望天树的自觉性, 以减少和避免对望天树生境的干扰和破坏。

参 考 文 献

- Ashton MS (1998). Seedling ecology of mixed dipterocarp forest. In: Appanah S, Turnbull JM eds. *A Review of Dipterocarps-Taxonomy, Ecology and Silviculture*. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia, 89-98.
- Brooks TM, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Rylands AB, Konstant WR, Flick P, Pilgrim J, Oldfield S, Margin G, Hilton-Taylor C (2002). Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology*, 16, 909-923.
- Cao M, Zhang JH (1997). Tree species diversity of tropical forest vegetation in Xishuangbanna, SW China. *Biodiversity and Conservation*, 6, 995-1006.
- Franklin JF, DeBell DS (1988). Thirty-six years of tree population change in an old-growth *Pseudotsuga-Tsuga* forest. *Canadian*

- Journal of Forest Research*, 18, 633– 639.
- Hanski I (1991). Single-species metapopulation dynamics: concepts, models and observations. *Biological Journal of the Linnean Society*, 42, 17– 38.
- Harper JL (1977). *Population Biology of Plants*. Academic Press, New York.
- Huang SX (黄仕训), Wang CM (王才明), Wang Y (王燕) (2001). A preliminary study on conservation of endangered species *Vatica guangxiensis*. *Bulletin of Botanical Research (植物研究)*, 21, 317– 320. (in Chinese with English abstract)
- Investigation Group for Good and Fast Growth Trees (优良速生树种调查组) (1975). A preliminary investigation report on rare tree—*Parashorea chinensis*. *Yunnan Forestry Science and Technology (云南林业科技)*, (3), 21– 31. (in Chinese)
- Leak WB (1975). Age distribution in virgin red spruce and northern hardwoods. *Ecology*, 56, 1451– 1456.
- Levins R (1969). Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 15, 234– 240.
- Li WC (李伟成), Ge Y (葛滢), Sheng HY (盛海燕), Chang J (常杰) (2004). Analysis on population surviving process of *Changium myrnioides*, an endangered plant. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 24, 1187– 1193. (in Chinese with English abstract)
- Li XK (李先琨), Su ZM (苏宗明), Xiang WS (向悟生), Ning SJ (宁世江), Tang RQ (唐润琴), Ou ZL (欧祖兰), Li RT (李瑞棠) (2002). Study on the structure and spatial pattern of the endangered plant population of *Abies yuanbaoshanensis*. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 22, 2246– 2253. (in Chinese with English abstract)
- Li XK (李先琨), Xiang WS (向悟生), Ou ZL (欧祖兰), Su ZM (苏宗明) (2003). Clonal growth spatial pattern and dynamics of the endangered plant *Taxus mairei* population. *Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究)*, 25, 625– 632. (in Chinese with English abstract)
- Magura T, Kádár V, Tóth B (2001). Effects of habitat fragmentation on carabids in forest patches. *Journal of Biogeography*, 28, 129– 138.
- Menges ES (1991). Seed germination percentage increases with population size in a fragmented prairie species. *Conservation Biology*, 5, 138– 164.
- Pickett STA (1982). Population patterns through twenty years of old-field succession. *Vegetatio*, 49, 45– 59.
- Rossum FV, Echchgadda G, Szabadi I, Triest L (2002). Commonness and long-term survival in fragmented habitats: *Primula elatior* as a study case. *Conservation Biology*, 16, 1286– 1295.
- Sheng HY (盛海燕), Chang J (常杰), Yin XW (殷现伟), Fan MY (樊梅英), Ge Y (葛滢) (2002). Seed dispersal and seed bank dynamics of the endangered *Changium myrnioides*. *Biodiversity Science (生物多样性)*, 10, 269– 273. (in Chinese with English abstract)
- Song P (宋萍), Hong W (洪伟), Wu CZ (吴承祯), Feng L (封磊), Fan HL (范海兰), Zhu H (朱慧), Lin YM (林勇明), Zhang Q (张琼) (2005). Population structure and its dynamics of rare and endangered plant *Alsophila spinulosa*. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 16, 413– 418. (in Chinese with English abstract)
- Wang LL (王立龙), Wang GL (王广林), Huang YJ (黄永杰), Li J (李晶), Liu DY (刘登义) (2006). Age structure and niche of the endangered *Magnolia sieboldii* in Huangshan Mountain. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 26, 1862– 1871. (in Chinese with English abstract)
- Weiss G, Mahn EG (1996). Survival of small isolated population of *Muscari tenuiflorum* Tausch in dry continental grassland—The role of reproduction. In: Settele J, Margules C, Poschlod P, Henle K eds. *Species Survival in Fragmented Landscapes*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 204– 208.
- Wu CZ (吴承祯), Hong W (洪伟), Xie JS (谢金寿), Wu JL (吴继林) (2000). Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 11, 333– 336. (in Chinese with English abstract)
- Xiao YA (肖宜安), He P (何平), Hu WH (胡文海), Li XH (李晓红) (2005). Temporal and spatial dynamics of reproductive modules of endangered plant *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* natural populations. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 16, 1200– 1204. (in Chinese with English abstract)
- Xie ZQ (谢宗强), Chen WL (陈伟烈) (1999). Characteristics and succession of the communities of *Cathaya argyrophylla*, an endangered plant. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, 23, 48– 55. (in Chinese with English abstract)
- Xie ZQ (谢宗强), Chen WL (陈伟烈), Lu P (路鹏), Hu D (胡东) (1999). The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argyrophylla*. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 19, 523– 528. (in Chinese with English abstract)
- Xue JY (薛敬意), Tang JW (唐建维), Sha LQ (沙丽清), Meng Y (孟盈) (2003). Soil nutrient contents and their characteristics of seasonal changes under *Parashorea chinensis* forest in Xishuangbanna. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, 27, 373– 379. (in Chinese with English abstract)
- Yin SH (殷寿华), Shuai JG (帅建国) (1990). Study on fruiting

behavior, seedling establishment and population age classes of *Parashorea chinensis*. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 12, 415– 420. (in Chinese with English abstract)

Yue CL (岳春雷), Jiang H (江洪), Zhu YM (朱荫湄) (2002). Analysis on numeric dynamics of population of *Cimicifuga nanchuanensis*, an endangered plant. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 22, 793– 796. (in Chinese with English abstract)

Zhang WH (张文辉), Xu XB (许晓波), Zhou JY (周建云), Xie ZQ (谢宗强) (2005). Population dynamics of endangered plant species *Abies chensiensis*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 16, 1799– 1804. (in Chinese with English abstract)

Zhang WH (张文辉), Zu YG (祖元刚), Liu GB (刘国彬) (2002). Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 22, 1512– 1520. (in Chinese with English abstract)

abstract)

Zhao XN (赵学农), Cao M (曹敏), He AJ (和爱军) (1990). A preliminary study on the dynamics of *Parashorea chinensis* population in Xishuangbanna region, Yunnan. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 12, 405– 414. (in Chinese with English abstract)

Zhu H (朱华) (1992a). Research of community ecology on *Parashorea chinensis* forest in Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 14, 237– 258. (in Chinese with English abstract)

Zhu H (朱华) (1992b). A comparison of morphological characters of the populations of *Parashorea chinensis* from different regions. *Guihaia* (广西植物), 12, 269– 271. (in Chinese with English abstract)

Zhu H (朱华) (1993). Floristic plant geography on the Dipterocarp forest of Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 15, 233– 252. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 张大勇 责任编辑: 王 葳